

一个新型的高频金属离子源

马明修 姚维 白桂彬

(北京师范大学)

摘 要

本文介绍了一个新型结构的高频离子源,它可以用气体、液体和固体物质工作。这一源的工作温度达到了 1000°C 。因此,它可以产生包括金属在内的多种元素的离子束。目前,已经引出了 Al^+ 、 Mg^+ 、 Fe^+ 、 Cr^+ 、 Zn^+ 、 In^+ 、 Ag^+ 、 Cd^+ 、 Sn^+ 、 Sm^+ 、 Hg^+ 、 S^+ 、 P^+ 、 As^+ 、 Se^+ 、 Te^+ 等离子束,总流强度在几百微安到毫安级,总流中所需离子含量是70—90%,源的工作寿命在40小时到100小时以上。本文主要讨论了这一离子源的结构和工作特性。

一、绪 言

高频型离子源具有结构简单、原子离子含量高、工作稳定、寿命长等优点,但是,通常它只能对常温下呈气态的物质进行工作,能够产生的离子种类较少,尤其难于产生金属的离子束。其原因主要是高频源的放电室和引出系统的工作温度较低,当用金属蒸汽工作时,金属蒸汽容易凝结在放电管的壁上,而使放电熄灭和堵塞引出孔道。为了适应小型加速器发展的需要,我们对高频源的结构进行了改进,提高它的工作温度,使之能够产生多种元素,特别是金属的离子束,从而设计制作了一个新型的高频金属离子源(以下简称源)。本文将要叙述它的基本结构和工作特性。

二、结构特点

本文介绍的离子源主要由三部分组成,其基本结构如图1所示。

1. 放电室

为了提高放电室的工作温度,一方面设法保温,把石英放电管做成双层壁(图1④),两层之间抽成真空,以减少放电室内热量的损失;另外,采取了加热措施,在放电管内装了一个加热灯丝(图1⑤)。加热灯丝用1mm的铜丝绕成螺管状,螺管直径约10mm左右,20—30匝。螺管直径不可过大,否则会影响高频放电的进行。为了便于拆装和使密封处不致过热,灯丝上部与两根 $\phi 2\text{mm}$ 的钨棒(图1①)连接,进气口部分(图1②)与放电管用一真空接头实现真空连接。

灯丝加热电流为直流 10—15 安培，这里借用了加热电流产生的磁场来约束放电，以增加离子引出口附近的等离子体密度。

高频放电是采用横置感应线圈的电感耦合方式，振荡频率为 25 兆赫，振荡器输入功率约 200—400 瓦。

为了加工的方便，对于挥发温度低于 600°C 的工作物质，也可采用如图 2 和图 3 所示的单层壁的放电管。

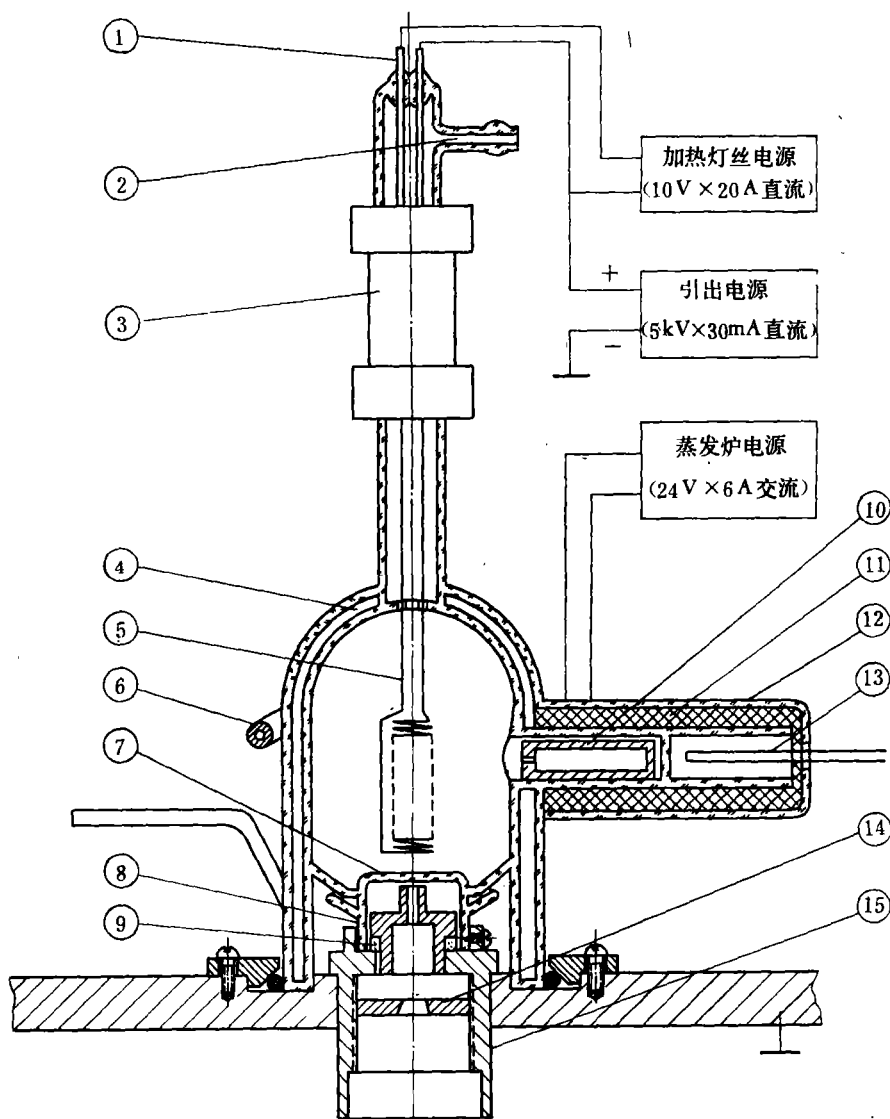


图1 高频型重离子源截面图

①连接灯丝的钨棒；②进气口；③真空接头；④双层壁放电管；⑤加热灯丝；⑥振荡感应线圈；⑦石英罩；⑧引出电极；⑨瓷环；⑩坩埚；⑪挥发炉；⑫挥发炉热屏蔽；⑬热电偶；⑭光栏；⑮引出电极底座

2. 引出系统

为了提高引出系统的阳极和阴极之间的绝缘性能,我们将引出电极上的石英套管改为一石英屏蔽罩(图1⑦),引出电压的正极接在加热灯丝上.为了提高引出电极的温度,采用了隔热措施,在引出电极和底座(图1⑤)之间加一石英垫圈(图1⑧),并将原来引出电极和底座之间的面接触改为点接触,使它们之间的导热面积减小.这样,由于离子的轰击和灯丝的加热就能使引出电极具有较高的温度,使引出系统能够稳定地工作.引出电极用高密度石墨做成.

引出系统的主要尺寸是:孔道长8mm,孔道直径2.5mm,石英屏蔽罩中央孔的直径是5mm,引出电极顶面至石英屏蔽罩顶面间的距离是2.5mm.

为了限制引出束的散角,在底座内加了一个直径4mm的光栏(图1⑨),其位置可调.实验证明,这个光栏显著地减小了引出束流的发射度.

3. 供气系统

由进气口(图1⑫)和挥发炉(图1⑬)组成.用气态物质工作的时候,工作气体从进气口通入放电管,用固态物质工作时,此口也可通入辅助气体,气体流量用针形阀门控制.当用固态或液态物质工作时,先把料装入一个带小孔的圆柱形坩埚(图1⑩)内,然后放入挥发炉中.坩埚小孔的直径小于1mm,它可较好地控制蒸汽流量,使之不致于过大.蒸汽流量的调节靠变化挥发炉的加热电流,以改变坩埚内的饱和蒸汽压来完成.挥发炉的温度用热电偶(图1⑭)进行测量.

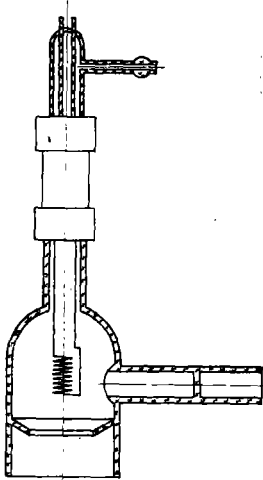


图2 单层可加热的石英放电管

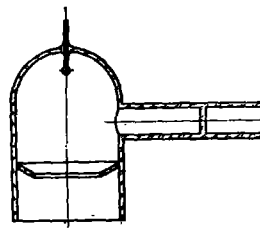


图3 单层壁石英放电管

4. 本源的真空封口,均用真空橡皮圈密封,采取自然冷却.

三、工作特性

为了检验源的工作特性,并考虑到小型加速器工作的需要,我们选择了铝、镁、铁、铬、锌、铟、银、镉、锡、钐、汞、硫、磷、砷、硒、碲等元素进行了桌面实验,部分结果见下表.

源的桌面实验参数表

离子种类	Al ⁺	P ⁺	S ⁺	Zn ⁺	Ag ⁺	Cd ⁺	In ⁺	Hg ⁺
工作物质	AlCl ₃	P	S	Zn	AgCl	Cd	In	Hg
挥发温度(°C)	100	295	109	400	700	275	950	50
引出电压(kV)	5	5		5		5	2.2	5
总束流强度(μA)	1000	1400		900		570	380	600
所需离子含量(%)	70	87	82	93.5	78	89	80	82.7

下面,我们对实验结果作一些说明。

1. 关于束流强度和总束流中所需离子含量

表中所列出的总束流强度数据,是在光栏(图 1④)之后测得的。对于不同元素的离子束,总束流强度可达几百微安到毫安级,随着离子质量数的增加而降低。

利用磁分析器对离子束进行了质量分析,图 4、图 5、图 6 分别记录了用 In、AlCl₃ 和 Zn 做为工作物质时引出的离子束的质量谱。从表内给出的数据可看出,当用纯元素工作时,所需离子含量可占 80% 到 90%,用化合物工作时,其含量一般可达 60% 到 70%。从实验中看到,适当调节工作气压和放电功率,可显著提高所需元素原子的电离度,尤其是用化合物工作时,适当地选择工作气压,对提高所需离子的含量具有重要意义。

2. 关于引出束的发射度和亮度

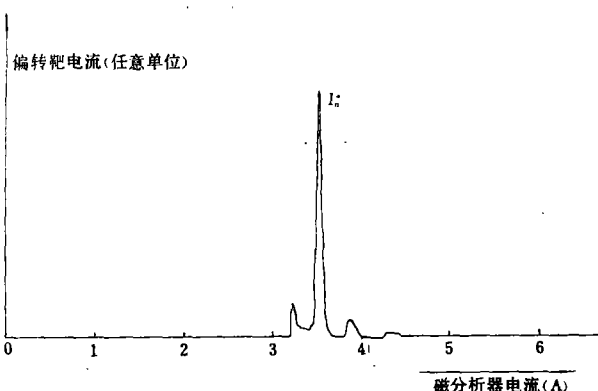


图 4 用铟蒸汽工作,引出束的质量谱

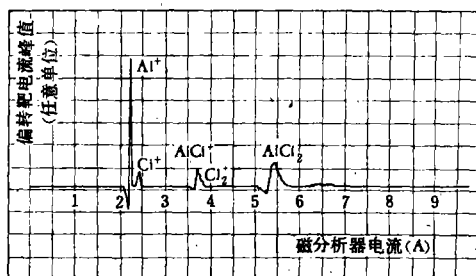


图 5 用 AlCl₃ 蒸汽工作,引出束的质量谱

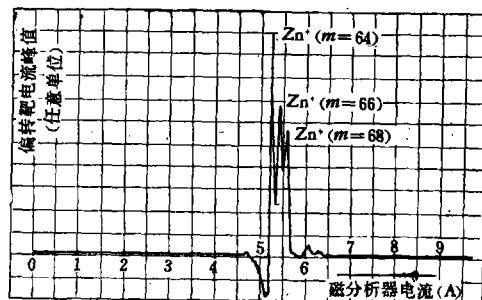


图 6 用 Zn 蒸汽工作,引出束的质量谱

利用“狭缝-探针”装置^[1],测量了本源引出束的发射度。图7给出了束流密度分布图,图8是相应的(r, r')相图。

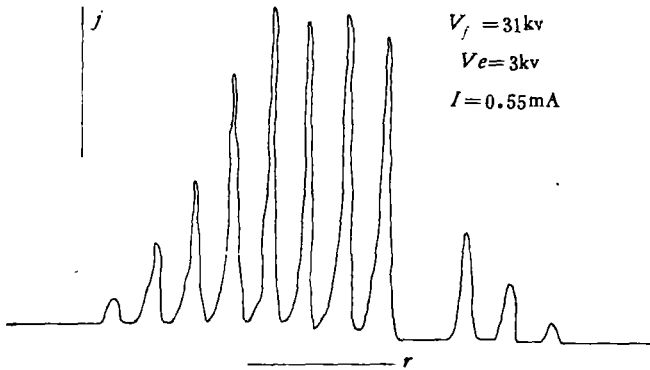


图7 束流密度分布

离子源的归一化发射度 En 的值主要由等离子体发射面的大小和形状以及引出电极通道的尺寸决定。在较好的工作状态下,归一化发射度的值是

$$En = 3 \times 10^{-6} \text{cm} \cdot \text{rad}.$$

束流的归一化亮度是

$$Bn = 1.4 \times 10^{10} \text{mA/cm}^2 \cdot \text{rad}^2.$$

3. 离子束的能量分散度

用减速方法^[2]测量了引出束的能量分散度,图9是测得的引出束中离子的能谱积分曲线。图中减速电压的“0”点对应着引出电压的正端电位。

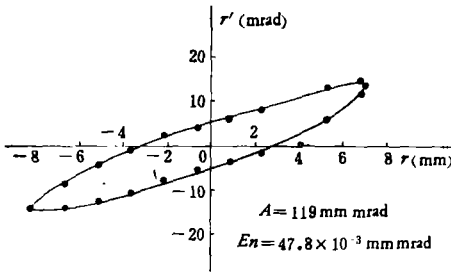


图8 束流的(r, r')相图

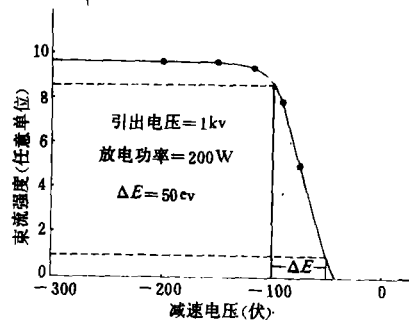


图9 引出束离子的能量谱积分曲线

根据测量数据得到,高频源的能量分散度,随着工作气压,引出电压,和放电功率的增加而变大。在正常工作范围内,本源的能量分散度在 50eV—100eV 之间。

4. 可能产生的离子种类

实验证明,本源可能产生的离子种类的多少,主要取决于他的工作温度。本源的工作温度已做过 1000℃ 的实验。查阅重离子源使用元素及化合物参数表^[3]可以知道,多数元素(约 80 种)具有挥发温度在 1000℃ 以下的工作物质。因此本源可以产生多种元素

的离子束。

5. 关于源的寿命

源的石墨引出电极和钨灯丝可以较长时间的工作，影响本源寿命的因素主要是放电管壁清洁程度。合理地调节放电室的工作温度，可以较长时间保持放电管壁的清洁。

从实验中看到，对于不同的工作物质，源的寿命有所不同，一般可在40小时到100余小时，对于某些气体可工作几百小时。

四、结 束 语

本源已用于我校的400keV离子注入机上，已用Al、Mg、Fe、Zn、Sn、Hg、S、P、As等元素进行了离子注入，在较好的条件下，在靶上得到了几十到100 μ A的束流。

实验证明：本源可以用气态、液态和固态物质工作，能产生包括金属在内的多种元素的离子束，具有较长的工作寿命和较高的束流强度。目前，有相当数量的加速器采用高频离子源，高频型金属离子源的研制，对于扩大这些加速器的应用范围具有重要意义。然而这是一个较新的研究课题，仍有待今后作进一步的探讨。

参 考 资 料

- [1] A. Septier, "Focusing of Charged Particles", (Academic Press, New York, 1967), Vol. II.
- [2] J. Y. Wada and H. Heil, "Proceedings of the Seventh International Conference on Phenomena in Ionized gases", (Belgrade, 1965) Vol. III.
- [3] J. H. Freeman and G. Sidenivs, *Nucl. Instr. Methods*, 107 (1973), 3.

A NEW TYPE OF RADIO-FREQUENCY METAL ION SOURCE

MA MING-HSIU YAO WEI PAI KUEI-PING

(Peking Normal University)

ABSTRACT

This article describes a new type of radio-frequency metal ion source, which can be operated with gases, liquids and solids. The operating temperature of the ion source may reach 1000°C. Therefore we can extract ion beams of a considerable number of the elements including metal. At present, the ion beams of Al⁺, Mg⁺, Fe⁺, Cr⁺, Zn⁺, In⁺, Ag⁺, Cd⁺, Sn⁺, Sm⁺, Hg⁺, S⁺, P⁺, As⁺, Se⁺, Te⁺, etc. have been extracted. The total beam current ranges from several hundred microamperes to the order of milliamperes. The useful fraction of ion in total beam is 70—90%. The life of the source ranges from 40 to more than 100 hours.

The basic structure and operating characteristics of the source are mainly discussed in this paper.